

# 파도 중 조종운동 간이 시뮬레이션 연구

김연규\* · 남보우\*\* · 서민국\*\* · 이경중\*\*\*

\*\*\*선박해양플랜트연구소 친환경운송연구본부, \*\*선박해양플랜트연구소 해양플랜트에너지연구본부

**요 약** : 국제해사기구(IMO)의 황천 중 조종성능 유지를 위한 최소추진마력 기준 제정과 국제수조협회(ITTC)의 파도 중 조종성능 추정에 대한 관심이 증가하면서 파도 중 조종성능 추정기술에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 본 연구에서는 파도 중 조종성능을 추정하는 기법 중 하나인 시뮬레이션 기법 중에서 조종운동만을 시뮬레이션하는 간이 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 자유항주시험결과가 존재하는 S-175 컨테이너선에 대한 시뮬레이션을 수행하여 비교하였다.

**핵심용어** : 파도, 조종운동, 시뮬레이션, S-175 컨테이너선, 자유항주시험

## 1. 서론

- 파도 중 조종성능 추정기술에 대한 관심 증가
  - 국제해사기구(IMO) 황천 중 최소추진마력 기준
    - 황천 중 조종성능 유지를 위한 최소추진마력 기준을 제정하 려고 함.
    - BC와 Tanker 선형에 문제가 됨(중소 조종소 주력 선종).
    - 2019년 4월 74차 회의에 최종안 제시 예정임.
  - 국제수조협회(ITTC) : 2017년 9월 총회(상해) 결과
    - Specialist Committee로 파도 중 조종성능(Maneuvering in Waves) 분과가 신규로 구성됨.
- 파도 중 조종성능 추정기법
  - 정도 : 자유항주시험 >> 시뮬레이션 > CFD
  - 시간 & 비용 : 시뮬레이션 >> CFD > 자유항주시험

## 2. 수학 모델

- 파도 중 조종운동 간이 시뮬레이션 수학모델
 
$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2 + z_G p \dot{r}) &= X_H + X_P + X_R + X_W \\
 m(\dot{v} + ur - z_G \dot{p} + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_W \\
 I_x \dot{p} - m z_G (\dot{v} + ur) &= K_H + K_P + K_R + K_W \\
 I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N_H + N_P + N_R + N_W
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

H : Hull, P : Propeller, R : Rudder, W : Wave Drift

## 파도 중 조종운동 시뮬레이션 기법

- Two Time Scale 모델과 Hybrid Approach 모델로 분류.
  - Tello Ruiz et. al, "Ship Manoeuvring in Waves(A literature review)", Flanders Hydraulics Research & Ghent University, 2012.11.
- Two Time Scale 모델
  - 시간에 대하여 빨리 변하는 선형 파도운동과 시간에 대하여 느리게 변하는 조종운동으로 가정함.
  - 조종운동과 파도운동을 각각 구하고 서로의 데이터를 교환하는 방법임.
- Hybrid Approach 모델
  - 하나의 운동방정식에 조종운동과 파도운동 방정식이 융합되어 있음.
  - 6자유도 운동을 직접 계산, 전형적인 모듈형 수학모형으로 표시.
- 간이 시뮬레이션 = Two Time Scale 모델의 조종운동 시뮬레이션

## 2. 수학 모델

- 4-DOF MMG model
 
$$\begin{aligned}
 X_H &= X_u \dot{u} + X_v v^2 + X_w w r + X_r r^2 + X(\dot{u}) \\
 Y_H &= Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_p \dot{p} + Y_v v |v| + Y_r r |r| \\
 &+ Y_{v|r} |r| + Y_{v|v} v r^2 + Y_{v|v} v^2 r + Y_{v|p} \dot{p} \\
 &+ Y_{v|v} v |\dot{v}| + Y_{v|v} v v^2 + Y_{v|v} v v r^2 + Y_{v|v} v v r |\dot{r}| \\
 K_H &= K_p + K_v \dot{v} + K_r \dot{r} + K_{\dot{p}} \dot{p} + WGM - Y_H \dot{v} \\
 N_H &= N_u \dot{u} + N_v \dot{v} + N_w \dot{w} + N_r \dot{r} + N_{v|v} v |v| + N_{v|r} \\
 &+ N_{v|r} |r| + N_{v|v} v r^2 + N_{v|v} v^2 r + N_{v|v} v v r |\dot{r}| + N_{v|v} v v r^2 \\
 &+ N_{v|p} \dot{p} + N_{v|v} v \dot{p} r^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_R &= -(1 - I_x) F_N \sin \delta \\
 Y_R &= (1 + a_H) F_N \cos \delta \\
 K_R &= -(1 + a_H) z_R F_N \cos \delta \\
 N_R &= (x_H + a_H x_H) F_N \cos \delta \\
 F_N &= U_R^2 A_R f_a \sin \alpha_R
 \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}
 U_R &= \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \\
 \alpha_R &= \delta - \delta_R \\
 \delta_R &= \delta_0 + \gamma_R (v' + l_R r') (U / u_R) \\
 u_R &= a l_P \sqrt{\eta (1 + \kappa (1 + \frac{8K_T (J_R^2)}{\pi J_P^2} - 1))^2 + (1 - \eta)} \\
 v_R &= -u_R \tan \delta_R
 \end{aligned}$$

$\eta$  : propeller diameter / rudder height

\* 중신회원, ygkim@kriso.re.kr

### 3. 정수 중 시뮬레이션 결과



#### □ 대상 선형 : S-175 컨테이너선

- Yasukawa & Nakayama, "6-DOF MOTION SIMULATIONS OF A TURNING SHIP IN REGULAR WAVES", MARSIM'09, M-13~M-22, 2009.8.
- 조종유체력 계수, 저항/추진 데이터 : KRISO 경험식

Item	Ship
Scale ratio	50.0
Length (m)	175.0
Breadth (m)	25.4
Draft (m)	9.5
Trim by stern (m)	0.0
Displacement (m <sup>3</sup> )	24,154
Transverse gyration (kxx/B)	0.338
Longitudinal gyration (kyy/L, kzz/L)	0.269
Propeller diameter (m)	6.507
Rudder area (m <sup>2</sup> )	32.46
Aspect ratio	1.83

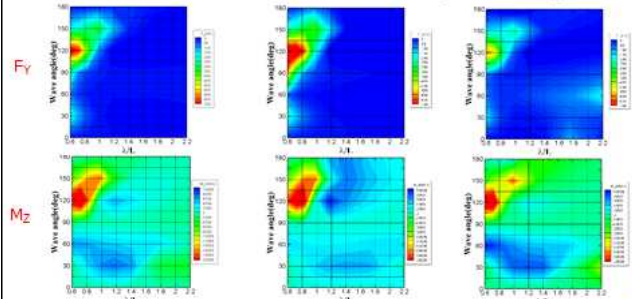
2018년 해양공학연구(결과)

KRISO/KIOST

### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과



#### □ Wave Drift Forces & Moments w/ Drift Angles

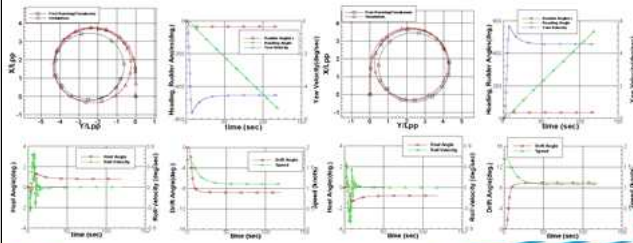


(a) SWAN1,  $v_0=0.0\text{m/s}$  (b) SWAN1,  $v_0=0.8\text{m/s}$  (c) SWAN1,  $v_0=-0.8\text{m/s}$   
Fig. Wave drift forces and moments according to wave angle (12 knots)

### 3. 정수 중 시뮬레이션 결과



- 실선의 12 kts에 대한 모형선 속도(1.70 kts)에서 시뮬레이션 수행 :  $f_a$ 를 수정하여 선회 궤적을 맞춤.
- 35° 좌우현 선회시험



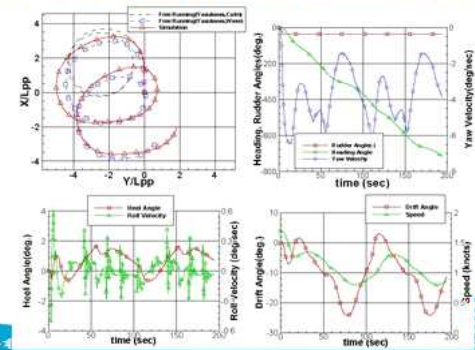
2018년 해양공학연구(결과)

KRISO/KIOST

### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과 (규칙파)



#### □ 35° Port Turn ( $\lambda/L=0.5, H/L=0.02, \text{Head Sea}$ )



2018년

KRISO/KIOST

### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과



#### □ Wave Drift Forces & Moments

- 서민국, 남보우, 김연규, "파랑 표류력을 고려한 선박의 파랑 중 선회 성능 해석", 대한조선학회논문집 55권2호, pp.103-115, 2018.
- SWAN1 (MIT 개발 프로그램) 수정
  - Rankine Panel Method, Frequency Domain
  - 개선 사항(by KRISO) : 전진속도 고려, Drift Angle 고려

Table 2 Computation conditions for wave drift forces and moments including sway velocity

Item	Conditions
Ship speed (knots)	0.2, 2, 4, 6, 8, 10, 12
Wave angle (deg.)	0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360
Wave frequency (rad)	0.35 ~ 0.85 interval 0.05
Sway velocity (m/s)	-0.8, -0.4, 0, 0.4, 0.8

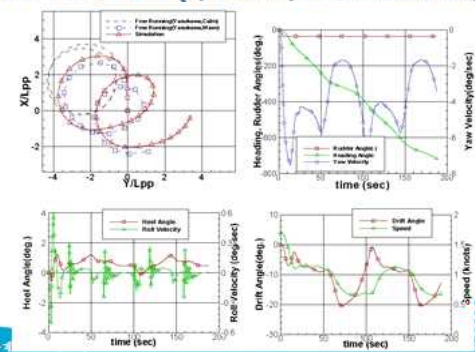
2018년 해양공학연구(결과)

KRISO/KIOST

### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과 (규칙파)



#### □ 35° Port Turn ( $\lambda/L=0.7, H/L=0.02, \text{Head Sea}$ )



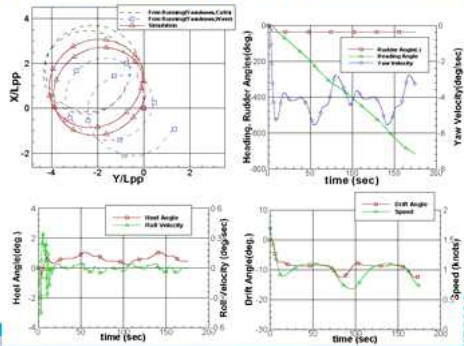
2018년

KRISO/KIOST

#### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과 (규칙파)



##### □ 35° Port Turn ( $\lambda/L=1.0, H/L=0.02, \text{Head Sea}$ )



2018년 4월

KRISO/KIOST

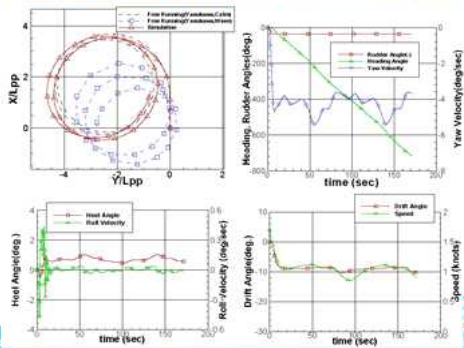
## 후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “선박의 조종-운동 통합성능 해석 기술 개발”에 의해 수행되었습니다 (PES9260).

#### 4. 파도 중 간이 시뮬레이션 결과 (규칙파)



##### □ 35° Port Turn ( $\lambda/L=1.2, H/L=0.02, \text{Head Sea}$ )



2018년 4월

KRISO/KIOST

## 5. 결론



- 파도 중 조종운동 간이 시뮬레이션 수행
  - S-175 컨테이너선, 모형선에 대한 시뮬레이션
  - 4자유도 MMG 수학적모델 + 파 표류력
- 규칙파 중 자유항주시험결과와 비교
  - $\lambda/L=0.5, 0.7$ 의 경우 매우 유사함.
  - $\lambda/L=1.0, 1.2$ 의 경우 파 표류 특성이 약함.
- 추후 연구
  - 파도 중 표류력 추정 정도 향상 방법
  - 타 및 프로펠러에 대한 파도 영향 모델링 방법
  - KVLC2, KCS 선형에 대한 시뮬레이션 수행

2018년 4월 26일(금) 발표

KRISO/KIOST